

HALFTONE PHASE SHIFT PHOTOMASK AND BLANK FOR HALFTONE PHASE SHIFT PHOTOMASK

Patent Number: JP7209849
Publication date: 1995-08-11
Inventor(s): MORI HIROSHI; others: 02
Applicant(s): DAINIPPON PRINTING CO LTD
Requested Patent: ☐ JP7209849
Application Number: JP19940003976 19940119
Priority Number(s):
IPC Classification: G03F1/08; H01L21/027
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To provide a halftone phase shift photomask having high quality with which the exposing light transmittance of a translucent part is arbitrarily adjustable and a high inspection sensitivity is obtainable as the photomask has the transmittance nearly constant from a transfer wavelength region to an inspection wavelength region.

CONSTITUTION: Layers including at least ≥ 1 layers of layers mainly composed of a hafnium compd. are formed as the halftone phase shift layers. The arbitrary exposing light transmittance is obtd. by adjusting the compsn. of the hafnium compd. and an electrical conductivity is imparted to the layers by adopting a laminar structure. Since the halftone phase shift layers have the advantages possessed by the conventional materials, such as easier fine adjustment of the transmittance, and addition to these advantages, have the transmittance nearly constant from the transfer wavelength region to the inspection wavelength region the transmittance in the inspection wavelength region is lowered and the inspection sensitivity is improved. The halftone phase shift photomask having the high quality is thus produced.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-209849

(43) 公開日 平成7年(1995)8月11日

(51) Int.Cl.⁵G 0 3 F 1/08
H 0 1 L 21/027

識別記号

A

庁内整理番号

7352-4M
7352-4M

F I

H 0 1 L 21/30

技術表示箇所

5 0 2 P
5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-3976

(22) 出願日 平成6年(1994)1月19日

(71) 出願人 000002897

大日本印刷株式会社
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

(72) 発明者 毛利 弘

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号大
日本印刷株式会社内

(72) 発明者 高橋正泰

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号大
日本印刷株式会社内

(72) 発明者 宮下裕之

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号大
日本印刷株式会社内

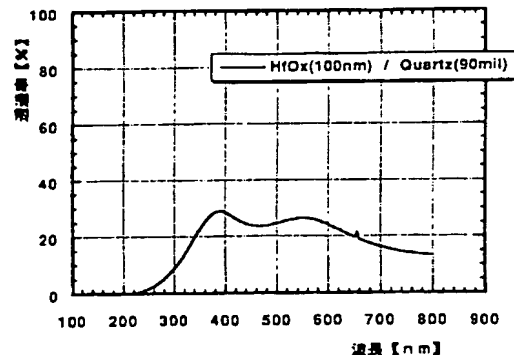
(74) 代理人 弁理士 荻澤 弘 (外7名)

(54) 【発明の名称】 ハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用 blanks

(57) 【要約】

【目的】 半透過部の露光光透過率を任意に調整することができ、かつ、転写波長域から検査波長域までほぼ一定の透過率を有して高い検査感度が得られる、高品質のハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【構成】 ハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含む層をハーフトーン位相シフト層とする。ハフニウム化合物の組成を調整することによって任意の露光光透過率が得られ、かつ、積層構造にすることによって導電性を付与し、また、透過率の微調整を簡易化できる等の従来の材料の持つ長所を有しながら、これに加え、ハーフトーン位相シフト層が転写波長域から検査波長域までほぼ一定の透過率を有するので、検査波長域での透過率が下がり、検査感度が向上し、高品質のハーフトーン位相シフトフォトマスクの作製が可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明基板上のハーフトーン位相シフト層がハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むことを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項2】 請求項1において、前記ハフニウム化合物がハフニウム原子の他に、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子の中の少なくとも1つを含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項3】 請求項1又は2において、前記ハフニウム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を0.1以上変化させない範囲で、ハフニウム原子、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子以外の不純物原子を含有することを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項4】 請求項1から3の何れか1項において、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下の式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン（ n は奇数）の範囲となるように形成されていることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

$$\phi = \sum_{k=1}^{m-1} \chi^{k,k+1} + \sum_{k=1}^{m-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は前記透明基板上に（ $m-2$ ）層の多層膜が構成されているフォトマスクを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $\chi^{k,k+1}$ は k 番目の層と（ $k+1$ ）番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は前記透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【請求項5】 請求項1から4の何れか1項において、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対する前記ハーフトーン位相シフト層の開口部透過率を100%としたときに、1乃至50%であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク。

【請求項6】 透明基板上のハーフトーン位相シフト層がハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むことを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項7】 請求項6において、前記ハフニウム化合物がハフニウム原子の他に、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子の中の少なくとも1つを含む化合物であることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項8】 請求項6又は7において、前記ハフニウム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を0.1以上変化させない範囲で、

ハフニウム原子、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子以外の不純物原子を含有することを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【請求項9】 請求項6から8の何れか1項において、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下の式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン（ n は奇数）の範囲となるように形成されていることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

$$\phi = \sum_{k=1}^{m-1} \chi^{k,k+1} + \sum_{k=1}^{m-1} 2\pi (u_k - 1) d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は前記透明基板上に（ $m-2$ ）層の多層膜が構成されているフォトマスク用ブランクスを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $\chi^{k,k+1}$ は k 番目の層と（ $k+1$ ）番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は前記透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【請求項10】 請求項6から9の何れか1項において、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対する前記透明基板の透過率を100%としたときに、1乃至50%となるような膜厚で、前記透明基板上に形成されていることを特徴とするハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、LSI、超LSI等の高密度集積回路の製造に用いられるフォトマスク及びそのフォトマスクを製造するためのフォトマスクブランクスに関し、特に、微細寸法の投影像が得られるハーフトーン位相シフトフォトマスク、この位相シフトフォトマスクを製造するためのハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスに関する。

【0002】

【従来の技術】IC、LSI、超LSI等の半導体集積回路は、フォトマスクを使用したいわゆるリソグラフィ工程を繰り返すことによって製造されるが、特に微細寸法の形成には、例えば、特開昭58-173744号公報、特公昭62-59296号公報等に示されているような位相シフトフォトマスクの使用が検討されている。位相シフトフォトマスクには様々な構成のものが提案されているが、その中でも、例えば米国特許第4,890,309号等に示されるような、いわゆるハーフトーン位相シフトフォトマスクが早期実用化の観点から注目を集め、特開平5-2259号公報、特開平5-127361号公報等のように、製造工程数の減少による歩留りの向上、コストの低減等が可能な構成、材料に関して、いくつかの提案がされてきている。

【0003】ここで、ハーフトーン位相シフトフォトマ

スクを図面に従って簡単に説明する。図5はハーフトーン位相シフトリソグラフィーの原理を示す図、図6は従来法を示す図である。図5(a)及び図6(a)はフォトマスクの断面図、図5(b)及び図6(b)はフォトマスク上の光の振幅、図5(c)及び図6(c)はウェーハー上の光の振幅、図5(d)及び図6(d)はウェーハー上の光強度をそれぞれ示し、101及び201は基板、202は100%遮光膜、102は入射光の位相を実質的に180度ずらし、かつ、透過率が1乃至50%である半透明膜、103及び203は入射光である。

従来法においては、図6(a)に示すように、石英ガラス等からなる基板201上にクロム等からなる100%遮光膜202を形成し、所望のパターンの光透過部を形成してあるだけであり、ウェーハー上での光強度分布は図6(d)に示すように裾広がりとなり、解像度が劣ってしまう。一方、ハーフトーン位相シフトリソグラフィーでは、半透明膜102を透過した光とその開口部を透過した光とでは位相が実質的に反転するので、図5

(d)に示すように、ウェーハー上でパターン境界部での光強度が0になり、その裾広がりを抑えることがで

$$\phi = \sum_{k=1}^{m-1} \chi^{k,k+1} + \sum_{k=1}^{m-1} 2\pi(u_k - 1)d_k / \lambda \quad \dots (1)$$

により計算され、 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ (n は奇数)の範囲に含まれるとき、上述の位相シフト効果が得られる。なお、式(1)で、 ϕ は基板上に($m-2$)層の多層膜が構成されているフォトマスクを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $\chi^{k,k+1}$ は k 番目の層と($k+1$)番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【0006】一方、ハーフトーン位相シフト効果が得られるための、ハーフトーン位相シフト部の露光光透過率は、転写パターンの寸法、面積、配置、形状等によって決定され、パターンによって異なる。実質的に、上述の効果をj得るためには、ハーフトーン位相シフト部の露光光透過率を、パターンによって決まる最適透過率を中心として、最適透過率±数%の範囲内に含まれるようにしなければならない。通常、この最適透過率は、開口部を100%としたときに、転写パターンによって1乃至50%という広い範囲内で大きく変動する。すなわち、あらゆるパターンに対応するためには、様々な透過率を有するハーフトーン位相シフトフォトマスクが要求される。

【0007】実際には、位相反転機能と透過率調整機能とは、基板材料とハーフトーン位相シフト膜を構成する材料(多層の場合は、各層を構成する各材料)の複素屈折率(屈折率と消衰係数)と厚さによって決定される。つまり、ハーフトーン位相シフト膜の膜厚を調整

*き、したがって、解像度を向上させることができる。

【0004】ここで、注目すべき点は、ハーフトーン以外のタイプの位相シフトリソグラフィーでは、遮光膜と位相シフター膜とが異なるパターンであるため、最低2回の製版工程を必要とするのに対し、ハーフトーン位相シフトリソグラフィーでは、パターンが一つであるため、製版工程は本質的に1回だけでよいという点であり、これがハーフトーン位相シフトリソグラフィーの大きな長所となっている。

【0005】ところで、ハーフトーン位相シフトフォトマスクの半透明膜102には、位相反転と透過率調整という2つの機能が要求される。この中、位相反転機能については、ハーフトーン位相シフト部を透過する露光光と、その開口部を透過する露光光との間で、位相が実質的に反転するようになっていればよい。ここで、ハーフトーン位相シフト層102を、例えばM. Born, E. Wolf著「Principles of Optics」628~632頁に示される吸収膜として扱えば、多重干渉を無視できるので、垂直透過光の位相変化

し、前記式(1)により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ (n は奇数)の範囲に含まれるように基板上に成膜したときの露光光透過率が1乃至50%の範囲に含まれるような材料が、ハーフトーン位相シフトフォトマスクのハーフトーン位相シフト層として使える。このような材料としては、例えば特開平5-127361号公報に示されるクロム化合物を主体とする膜等が知られている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ここで、上記のクロム化合物を主体とする膜は、クロムの酸化物、窒化物、酸化窒化物、酸化炭化物、酸化炭化窒化物等であり、これらの膜の透過率は波長によって大きく変わる。例えば、図9に、合成石英基板上にスパッタリング法により成膜された酸化クロム膜の分光透過率曲線を示す。ここで、酸化クロム膜の膜厚はおよそ100nmである。図9より明らかなように、酸化クロム膜の透過率は、紫外域で低く、可視、赤外域に行くにつれて高くなる。この傾向は、窒化クロム膜、酸化窒化クロム膜、酸化炭化クロム膜、酸化炭化窒化クロム膜等についても同様である。

【0009】一般的に、ハーフトーン位相シフトフォトマスクの露光光は、高圧水銀灯のi線(365nm)、g線(436nm)等の短波長光であるが、上記クロム化合物の透過率の分光特性が上述の傾向を持つので、これらの露光光透過率を所望の透過率とした場合、長波長域での透過率は非常に高くなってしまふ。例えば、上述の酸化クロムを主体とする化合物をi線のハーフトーン位相シフトフォトマスクのハーフトーン位相シフター

に用いた場合、365nm光の透過率を10%とした場合、500~600nm付近での透過率はおよそ50%前後となってしまふ。

【0010】ところで、フォトマスクは、製版後、欠陥検査を行い必要に応じて確認された欠陥を修正するが、この欠陥検査は、通常、透過光を用いて光学的に行う。この際、パターン部と非パターン部との透過率差（コントラスト）が大きい程高感度の検査が可能となる。ここで、金属クロムのパターンからなる従来の位相シフターを用いないフォトマスクでは、その透過率は波長によらずほぼ0%であるため、検査光波長は必ずしも露光光波長と同一ではなく、光源、光学系が有利な可視光域を利用することが多かった。また、可視光を使用すると、検査状況を直接目視できるという利点があった。特に、微細なパターンを検査するために現在最も広く用いられている検査装置は、水銀灯のe線（545nm）、アルゴンレーザー（488nm）等を光源としたものである。ハーフトーン位相シフトフォトマスクの場合、これらの検査装置を使って、従来のフォトマスクと同レベルの検査をするためには、パターン部（ハーフトーン位相シフター部）の検査光透過率を下げ、上述のコントラストを上げることが必要となる。ハーフトーン位相シフトフォトマスクの場合、露光波長においてパターン部は上述の通り半透明なので、検査波長の透過率を0%にすることはできないが、少なくとも露光波長と同程度の低い透過率が要求される。

【0011】ところが、上述の通り、クロム化合物をハーフトーン位相シフト層の材料として用いるハーフトーン位相シフトフォトマスクでは、露光光波長透過率を所望の値になるよう調整したときに、検査光波長での透過率が著しく上がってしまうため、従来のフォトマスクと同じ方式での検査は困難となってしまふという問題があった。

【0012】本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、半透過部の露光光透過率を任意に調整することができ、かつ、転写波長域から検査波長域までほぼ一定の透過率を有して高い検査感度が得られる、高品質のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びそのためにブランクスを提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の問題に鑑み、露光光の位相を反転する膜厚に成膜したときに、露光光において所望な透過率となるだけでなく、上述の可視域波長の検査光においても検査が可能な透過率となるハーフトーン位相シフト層材料を開発すべく研究の結果、完成に到ったものである。

【0014】すなわち、本発明は、ハーフトーン位相シフト層としてハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス

に関する。ハフニウム化合物を主体とする膜は、上述のクロム化合物を主体とする膜とは異なり、短波長の露光光域から長波長の検査光域までほぼ一定の透過率となるので、露光光波長の透過率を所望の透過率としたときに、従来のフォトマスクと同じ検査装置・検査方法でほぼ同様の感度で検査を行うことが可能となる。

【0015】一般に、金属ハフニウム膜は、紫外域から可視域の波長範囲では、波長によらず光を透過しない遮光膜である。一方、ハフニウムの一般的な酸化物である二酸化ハフニウムは、上述の波長範囲でほぼ透明膜となる。図7にフォトマスク用合成石英上にスパッタリング法により二酸化ハフニウムを約100nm成膜したときの分光透過率曲線（破線）を示す。基板である合成石英の分光透過率（実線）と比較すると、この二酸化ハフニウムは、短波長域で若干透過率が下がるものの、ほぼ全波長域で透明膜となっていることが分かる。

【0016】ここで、酸化ハフニウムの酸化度合を、上述の遮光膜と透明膜との間で調整すれば、ハーフトーン位相シフト層として使用できる膜が得られる。図8に酸化度合を調整し、フォトマスク用合成石英上にスパッタリング法によって100nmの膜厚で成膜した酸化ハフニウム（ HfO_x ； $0 < x < 2$ ）の透過率を示す。この酸化ハフニウムは、上述の転写露光波長域からマスク検査波長域まで、ほぼ一定の透過率を示すことが分かる。

【0017】以上、酸化物について述べたが、ハフニウムのフッ化物、珪化物、ホウ化物、炭化物、窒化物等の化合物、さらに、酸化フッ化物、酸化炭化窒化物等の複合化合物についても、同様に組成比を制御することによって、ハーフトーン位相シフト層に適する膜を得ることができる。また、これらのハフニウム化合物膜は、スパッタリング法だけでなく、真空蒸着法、イオンプレーティング法等、通常のあらゆる薄膜形成方法によって得ることができる。

【0018】スパッタリング法によりハフニウム化合物の単層ハーフトーン位相シフトフォトマスクブランクスを形成するには、金属ハフニウムをターゲットとした通常の反応性スパッタリング法によることができる。この場合、放電ガスとしてアルゴンガスを用いると、遮光膜である金属ハフニウム膜ができ、また、放電ガスとして酸素ガス、炭酸ガス、四フッ化炭素ガス、亜酸化窒素ガス等の反応性ガスを用いると、透明膜である二酸化ハフニウム等のハフニウム化合物膜ができる。この際、反応性ガスとアルゴンガスとの混合ガスを用いて、その混合比を調整すれば、酸化度合が調整された膜が得られ、ハーフトーン位相シフトフォトマスクとして要求される透過率領域の膜を成膜することができる。ここで、アルゴンガスの割合が多い程透過率が低く、逆に、反応性ガスの割合が多い程透過率が高くなるが、実際には、ガス混合比と透過率との関係は、化合物の種類、成膜条件、スパッタリング装置中のガス導入方法等の装置ファクター

等によって異なる。そこで、ガス混合比を変えて成膜した種々のハフニウム化合物膜の光学定数を、例えば偏光解析法等により求め、それぞれの膜について前記した式(1)により露光光の位相を180度反転する膜厚を計算し、この膜厚だけフォトマスク用合成石英基板上に成膜したときの透過率を求めておくことが必要となる。例えば、酸化ハフニウムの場合では、一般的にハーフトーン位相シフトフォトマスクに要求される1~50%の透過率とするための混合比は、酸素ガスの割合が1~70%の間である。

【0019】もちろん、予め所望の混合比に調整された混合物ターゲットを使用するスパッタリング法によっても、所望のハフニウム化合物膜が得られる。また、真空蒸着法においても、金属ハフニウムを蒸発源とし、いわゆる反応性蒸着によって成膜することができる。ここで、酸素ガス、炭酸ガス、四フッ化炭素ガス等を反応性ガスとして、これらの導入量を調整することによって、上述のスパッタリング法と同様に、所望のハフニウム化合物が得られる。さらに、イオンプレーティング法においても同じである。

【0020】次に、これらハフニウム化合物膜の製版には、従来のリソグラフィ技術を用い、約1~2%に希釈されたフッ酸により酸化ハフニウムを選択的にエッチングすればよい。ここで、基板の合成石英とハフニウム化合物とのエッチング選択比は、実用上十分である。また、いわゆるリフトオフ法によりパターン形成することも可能である。何れの場合も、ハフニウム化合物は、クロムのエッチング液である硝酸セリウム系液に侵されないため、クロムをマスクとして使用することができる。

【0021】以上、ハーフトーン位相シフト層を、ハフニウム化合物単層とする場合について述べたが、必要に応じて異なる組成のハフニウム化合物膜や、金属ハフニウム薄膜と積層して多層膜とすることもできる。また、ハフニウムを含まない膜と積層することも可能である。特に、ハーフトーン位相シフト層のパターニングを電子線リソグラフィによって行う場合、その中に導電性を有する膜を含めば、電子線描画中のチャージアップを防げるという利点がある。また、透過率の微調整のためには、膜厚による位相ずれの影響が小さく吸収の大きい薄層を含めておいて、この層の厚さにより透過率を合わせ込むようにすることもできる。

【0022】また、これらのハフニウム化合物を含むハーフトーン位相シフトフォトマスクは、上述の水銀等のi線、g線露光の他に、より高解像度リソグラフィが可能なフッ化クリプトン(248nm)等のエキシマレーザー露光や、i線(365nm)より短波長域の水銀等露光にも対応可能である。

【0023】以上説明したように、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスクは、透明基板上的ハーフトーン位相シフト層がハフニウム化合物を主体とする層を少

なくとも1層以上含むことを特徴とするものである。

【0024】この場合、ハフニウム化合物がハフニウム原子の他に、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子の中の少なくとも1つを含む化合物であってもよい。さらに、ハフニウム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を0.1以上変化させない範囲で、ハフニウム原子、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子以外の不純物原子を含有していてもよい。また、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下の式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン(n は奇数)の範囲となるように形成されていることが望ましい。

$$\phi = \sum_{k=1}^{m-1} \chi^{k,k+1} + \sum_{k=2}^{m-1} 2\pi(u_k - 1)d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は透明基板上に $(m-2)$ 層の多層膜が構成されているフォトマスクを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $\chi^{k,k+1}$ は k 番目の層と $(k+1)$ 番目の層との界面で起きる位相変化、 u_k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【0025】また、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対するハーフトーン位相シフト層の開口部透過率を100%としたときに、1乃至50%であることが望ましい。

【0026】また、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスは、透明基板上的ハーフトーン位相シフト層がハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含むことを特徴とするものである。

【0027】この場合、ハフニウム化合物がハフニウム原子の他に、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子の中の少なくとも1つを含む化合物であってもよい。さらに、ハフニウム化合物を主体とする層が、露光光での偏光解析法により求められる屈折率を0.1以上変化させない範囲で、ハフニウム原子、酸素原子、フッ素原子、珪素原子、ホウ素原子、炭素原子、窒素原子以外の不純物原子を含有していてもよい。また、ハーフトーン位相シフト層が、透明基板上に以下の式により求まる位相差 ϕ が $n\pi \pm \pi/3$ ラジアン(n は奇数)の範囲となるように形成されていることが望ましい。

$$\phi = \sum_{k=1}^{m-1} \chi^{k,k+1} + \sum_{k=2}^{m-1} 2\pi(u_k - 1)d_k / \lambda$$

ここで、 ϕ は透明基板上に $(m-2)$ 層の多層膜が構成されているフォトマスク用ブランクスを垂直に透過する光が受ける位相変化であり、 $\chi^{k,k+1}$ は k 番目の層と $(k+1)$ 番目の層との界面で起きる位相変化、 u

k 、 d_k はそれぞれ k 番目の層を構成する材料の屈折率と膜厚、 λ は露光光の波長である。ただし、 $k=1$ の層は透明基板、 $k=m$ の層は空気とする。

【0028】また、ハーフトーン位相シフト層の露光光に対する透過率が、その露光光に対する透明基板の透過率を100%としたときに、1乃至50%となるような膜厚で、透明基板上に形成されていることが望ましい。

【0029】

【作用】本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスにおいては、ハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含む層をハーフトーン位相シフト層とするため、ハフニウム化合物の組成を調整することによって任意の露光光透過率が得られ、かつ、積層構造にすることによって導電性を付与し、また、透過率の微調整を簡易化できる等の従来のクロム化合物ハーフトーン位相シフト層材料の持つ長所を有しながら、これに加え、ハーフトーン位相シフト層が転写波長域から検査波長域までほぼ一定の透過率を有するものであるため、検査波長域での透過率が下がり、検査感度が向上し、高品質のハーフトーン位相シフトフォトマスクの作製が可能となる。

【0030】

【実施例】以下、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスの実施例について説明する。

【実施例1】本発明の水銀灯i線露光用のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスの実施例を図1に従って説明する。同図(a)に示すように、鏡面研磨されたシリコンウェハ601上に、スパッタリング法で、以下に示す通りの条件で酸化ハフニウム膜602を約30nmの厚さに成膜し、偏光解析用サンプル603を得た。

【0031】成膜装置 : プレーナー型DCマグネトロンスパッター装置

ターゲット : 金属ハフニウム

ガス及び流量 : アルゴンガス70sccm+酸素ガス30sccm

スパッター圧力: 3ミリトル

スパッター電流: 4.5アンペア

次に、市販の分光エリプソメーター(ソプラ社製ES-4G)で、このサンプル603の水銀灯i線波長(365nm)での屈折率 u 及び消衰係数 k を測定したところ、それぞれ $u=2.096$ 、 $k=0.280$ であった。これを、前記M. Born, E. Wolf著「Principles of Optics」628~632頁に示される金属膜として扱い、フォトマスクの基板として使われる高純度合成石英上に成膜したときに、365nmの波長の透過光の位相を180度ずらすために必要な膜厚を計算したところ、166.5nmであった。

【0032】そこで、図1(b)に示すように、光学研磨され、よく洗浄された高純度合成石英604上に上述の成膜条件で酸化ハフニウム膜605を約170nm成膜したところ、波長365nmの光の透過率がおよそ16%である本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクス606を得た。このブランクス606の分光透過率曲線を図4に示す。同図より明らかなように、このブランクス606の透過率は可視光域でも高くなっていない。

【0033】【実施例2】本発明の水銀灯i線露光用のハーフトーン位相シフトフォトマスクの実施例を図2の製造工程図に従って説明する。図2(a)に示すように、実施例1で得たブランクス701上に、以下の条件でスパッタリングによるクロム膜702を約100nm形成した。

【0034】成膜装置 : プレーナー型DCマグネトロンスパッター装置

ターゲット : 金属クロム

ガス及び流量 : アルゴンガス100sccm

スパッター圧力: 3ミリトル

スパッター電流: 3.5アンペア

次いで、図2(b)に示すように、このクロム膜702上に常法の電子線リソグラフィー法又はフォトリソグラフィー法により、有機物を主成分とする所望のレジストパターン703を得た。その後、同図(c)に示すように、レジストパターン703から露出されたクロム膜702を、硝酸セリウム系のクロムエッチング液に浸漬することによって選択的に除去し、その後、レジストパターン703を剥離し、同図(d)に示すように、所望のクロムパターン704を得た。

【0035】次に、同図(e)に示すように、このブランクスを1.5%フッ酸に浸漬することによって、クロムパターン704をマスクとして酸化ハフニウム膜705のエッチングを行い、最後に、クロム膜704を上述のクロムエッチング液によって剥離し、同図(f)に示すような所望の酸化ハフニウムパターン706を得た。この酸化ハフニウムパターン706は、化学安定性、基板との密着性、耐候性、照射耐性等全て、フォトマスクに要求される特性を満たしたものであった。また、このマスクの透過率は、紫外域から可視域までほぼ一定なので、従来のクロムマスク用検査装置でクロムマスクと同じ感度で検査が可能であった。

【0036】【実施例3】本発明の水銀灯i線露光用のハーフトーン位相シフトフォトマスクの別の実施例を図3の製造工程図に従って説明する。図3(a)に示すように、始めに、通常のクロム製版技術により、所望のパターンをネガポジ反転したクロムパターン801をフォトマスク用合成石英基板802上に形成した。続いて、同図(b)に示すように、このようにしてクロムパターンを形成した基板803上に、実施例1と同じ条件で酸化ハフニウム膜804を170nm成膜した。次に、硝

酸セリウム系のクロムエッチング液にこの酸化ハフニウム膜804を成膜した基板805を浸漬し、クロムパターン801を除去することによって、酸化ハフニウム804のうち、クロムパターン上に積層している部分を選択的に除去するいわゆるリフトオフ法によって、同図

(c)に示すような所望の酸化ハフニウムパターン806を得た。この酸化ハフニウムパターンも、実施例2で得られた酸化ハフニウムパターンと同様に、ハーフトーン位相シフトフォトマスクとしての特性に優れたものであった。

【0037】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明のハーフトーン位相シフトフォトマスク及びハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスによると、ハフニウム化合物を主体とする層を少なくとも1層以上含む層をハーフトーン位相シフト層とするため、ハフニウム化合物の組成を調整することによって任意の露光透過率が得られ、かつ、積層構造にすることによって導電性を付与し、また、透過率の微調整を簡易化できる等の従来のクロム化合物ハーフトーン位相シフト層材料の持つ

長所を有しながら、これに加え、ハーフトーン位相シフト層が転写波長域から検査波長域までほぼ一定の透過率を有するものであるので、検査波長域での透過率が下がり、検査感度が向上し、高品質のハーフトーン位相シフトフォトマスクの作製が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクスを得る過程を説明するための図である。

【図2】本発明の実施例2のハーフトーン位相シフトフォトマスクの製造工程図である。

【図3】本発明の実施例3のハーフトーン位相シフトフ

ォトマスクの製造工程図である。

【図4】実施例1のハーフトーン位相シフトフォトマスク用ブランクの分光透過率曲線を示す図である。

【図5】ハーフトーン位相シフトリソグラフィーの原理を示す図である。

【図6】従来法を示す図である。

【図7】二酸化ハフニウムの分光透過率曲線と合成石英の分光透過率曲線とを比較して示す図である。

【図8】酸化度合を調整した酸化ハフニウムの分光透過率曲線を示す図である。

【図9】酸化クロム膜の分光透過率曲線を示す図である。

【符号の説明】

601…シリコンウェーハ

602…酸化ハフニウム膜

603…偏光解析用サンプル

604…高純度合成石英

605…酸化ハフニウム膜

606…ブランクス

701…ブランクス

702…クロム膜

703…レジストパターン

704…クロムパターン

705…酸化ハフニウム膜

706…酸化ハフニウムパターン

801…クロムパターン

802…合成石英基板

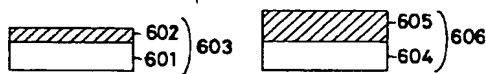
803…クロムパターンを形成した基板

804…酸化ハフニウム膜

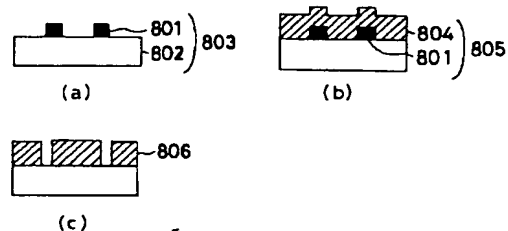
805…酸化ハフニウム膜を成膜した基板

806…酸化ハフニウムパターン

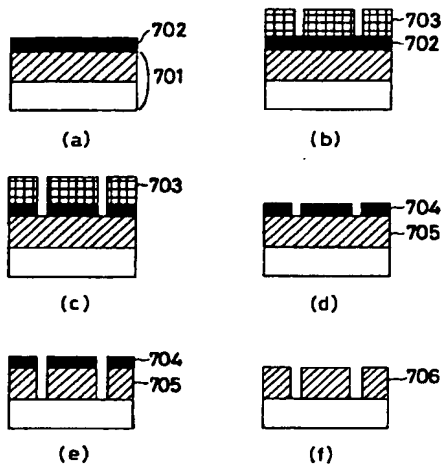
【図1】



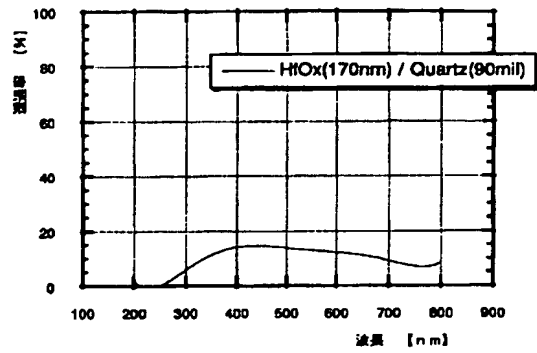
【図3】



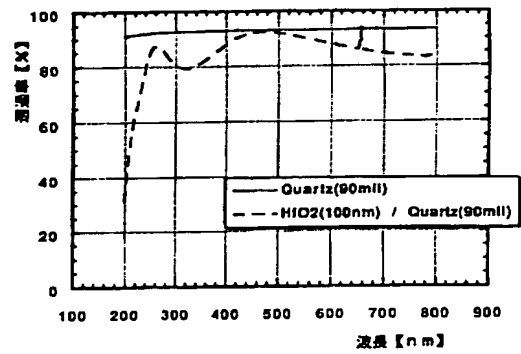
【図2】



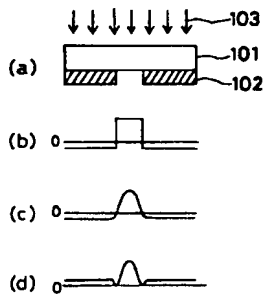
【図4】



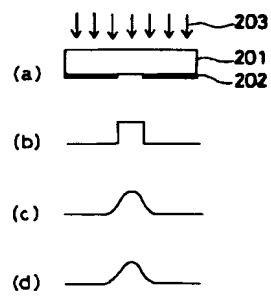
【図7】



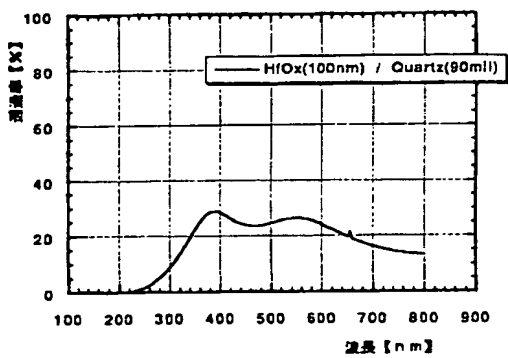
【図5】



【図6】



【図8】



【図9】

